中華農業研究(J. Agric. Res. China) 52:268~290(2003)

利用植被光譜特徵估測莧菜植株生長及氮素狀態[1]

楊純明[2,8] 吳正宗[3] 沈百奎[4] 余志儒[5] 羅朝村[6] 申雍[7]

摘 要

楊純明、吳正宗、沈百奎、余志儒、羅朝村、申雍。2003。利用植被光譜特徵估測莧菜植株生長及氮素狀態。中華農業研究 52:268-290。

本研究量測 2001-2002 年三不同作季採收時莧菜(*Amaranthus mangostanus*)植被反射光譜及植株性狀，以探討利用植被光譜特徵估測莧菜植株生長及氮素狀態之可行性。由量測光譜範圍(350-2400 nm)各窄波段反射比與調查性狀之簡單直線相關強度分析，可知各窄波段反射比與各調查性狀之相關程度不一，地上部鮮產量、葉片葉綠素總量、乾物質百分比、葉面積、地上部植體硝酸鹽含量及全氮含量等性狀之相關係數絕對值最大之窄波段位置分別座落於 767、574、779、574、1975 及 577 nm。將另一作季田間試驗之各光譜特徵反射比輸入直線迴歸模式，僅葉片葉綠素總量及地上部植體全氮含量之估測值與實測值相關顯著。續分析八種植被光譜指數與六種調查性狀之關係，顯示地上部鮮產量、地上部植體全氮含量、葉片葉綠素總量分別與不同光譜指數呈現曲線或直線關係。經將另次試驗光譜資料輸入相關模式求出估測值與實測值比較後，此三性狀之估測值與實測值相關均達顯著。由多元直線複迴歸分析，地上部鮮產量及全氮含量可以二元直線迴歸模式表示，葉面積可以三元直線迴歸模式表示，葉片葉綠素總量、地上部植體乾物質百分比及地上部植體硝酸鹽含量則可以四元直線迴歸模式表示。經另次試驗光譜特徵輸入各模式求出估測值與實測值比較後，除了葉面積之外，其餘五項性狀之估測值與實測值相關均達顯著。

關鍵詞：植被光譜特徵、莧菜、植株生長、氮素狀態、多元線性複迴歸分析。

---

1. 行政院農委會農業試驗所研究報告第 2169 號。接受日期:92 年 9 月 1 日。
2. 本所農藝組研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
3. 國立中興大學土壤環境科學系講師。臺灣省 臺中市。
4. 本所園藝組助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
5. 本所應動組助理研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
6. 本所植病組研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。
7. 國立中興大學土壤環境科學系教授。臺灣省 臺中市。
8. 通訊作者，電子郵件: cmyang@wufeng.tari.gov.tw；傳眞機: (04)23396057。

前　言

葉菜類是臺灣地區民眾的主要蔬菜來源，1999 年栽植面積超過 40,000 公頃，產量高達 1,000,000 公噸以上(農業統計年報 1999)。莧菜(*Amaranthus mangostanus* L.或稱 *A. tricolor* L.)是主要葉菜類蔬菜之一，俗稱茼菜、芥菜或莕菜不等，為莧屬一年生 C_4 型植物，臺灣地區周年皆可栽培。現行莧菜栽培多施用無機化學肥料，常為加速植株生長而有施用大量肥料情事，在民眾「吃的安心、吃的健康」訴求下，已愈來愈重視植體內硝酸鹽含量問題，因此針對減少施用過量氮肥以降低莧菜植體硝酸鹽需求，值得檢討與因應。

蔬菜中硝酸鹽累積的問題，早期在如菠菜、莙菜等已有諸多報導，並指出其累積原因係受到氮肥型態、施用量及環境因素(如光強度、溫度等)多方影響(楊 1995；Boon *et al.* 1990; Cantliffe 1972a, 1972b; Hata & Ogata 1976)。其實氮肥的施用應該配合氣溫、光照、土壤水分含量及土壤性質等環境條件作整體考量，在環境條件配合下，適量的氮肥可使蔬菜植株生長快速，過量的氮肥則將造成植體硝酸鹽大量累積(王等 1994b；蔡等 1995；Boon *et al.* 1990; Cantliffe 1972b; Marschner 1995; Maynard *et al.* 1976; Sui *et al.* 1983)，產生對人體健康的負面影響而減損蔬菜品質。一般植物對於銨態氮(NH_4^+—N)之肥料能夠由根系直接吸收後利用，硝酸態氮(NO_3^-—N)肥則需要在根部還原成銨態氮後再予利用，相對上較為耗能(Williams & Haynes 1995)。因此，需能的硝酸態氮肥在低溫或光照不足等環境下，由於同化能力降低易造成有效氮源累積於植體中，使得可食用植體部位(如莖、葉)之硝酸鹽累積(吳&王 1995；Boon *et al.* 1990; Cantliffe 1972a, 1972b, 1972c; Martignon *et al.* 1994)。由於蔬菜中的硝酸鹽進入人體後，可能產生致癌物質之亞硝胺(nitrosamine)或亞硝酸胺(nitrosamide)(Addiscott *et al.* 1991；Forman *et al.* 1985)，且降低紅血球運輸氧分子能力(Boldget t & Clark, 1986)造成呼吸困難，所以硝酸鹽累積的問題必須加以重視，追蹤植株氮素狀態亦宜列入栽培管理調查項目。

欲控制蔬菜植體內硝酸鹽含量，最直接有效的方法就是維持植體內適當的氮素含量，以避免刺激或促進生成硝酸鹽。而欲控制植體內氮素含量，就必須合理化氮肥的施用，並追蹤植體氮素狀態以掌握施肥量及施用時機。光譜遙測技術(spectral remote sensing technique)係以非接觸式的物理感測方法偵測作物植被之反射光譜，經預建之光譜特徵模式將即時遙測資訊估測出當時植體氮素狀態及硝酸態氮含量，達到非破壞性快速而大量檢測目的。如此，光譜遙測技術可被利用來經營與管理農田作物植體氮素及外添氮肥施用，並因而減少硝酸鹽過度累積。

本試驗以莧菜品種臺農一號為試材，藉由植被光譜量測及生長性狀與植體氮素調查，期以篩檢相關光譜特徵，建立合適的光譜特徵模式以估測莧菜生長(產)及植株氮素與硝酸態氮狀態，助益於未來莧菜栽培之精準管理用途。

材料與方法

莧菜栽培管理

本研究於 2001-2002 年間在臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場進行三次田間試驗，以量測莧菜植被之反射光譜，並調查與分析莧菜植株之生長性狀及欲探討之植體化學組成，篩檢出相關光譜特徵和建立光譜特徵模式。另進行以驗證迴歸模式為主的第四次田間試驗，於採收時量測光譜並調查性狀與分析組成，將各測值輸入以前三作季建立之各迴歸模式，比較估測值與實測值以檢驗模式在本試驗狀況之適用性。

田間栽培管理措施列於表 1，每次田間試驗取樣分析之土壤性質列於表 2。在第一次、第二次及第四次田間試驗，為減少病蟲害發生，特於播種前整地並覆蓋 PE 塑膠布，且於田區四周架設 32 目紗網(高 1.5 m)圍籬環繞。另第一次田間試驗僅施用基肥，第三次試驗則增加有機牛糞堆肥(表 4)的施用，以中和強酸性土壤。

病蟲害防治採一致方法，播種後7日噴灑35%滅達樂可濕性粉劑(metalaxyl, methy-D,L-N- (2,6-dimethylphenyl)-N-(2'-methoxyacetyl)-alanine methyl ester)一次，劑量7.50 kg a. i. ha^{-1}，來防止腐黴菌(*Pythium* spp)之發生。播種後約 2 週噴施 90%納乃得可濕性粉劑(methomyl, S-Methyl-N- [(methyl-carbamoyl)-oxy] thioacetimidate)一次，劑量0.5 kg a.i. ha^{-1}，稀釋倍數3000X。雜草防除上，則以人工拔除方式，實施日期如表1。田區設計係採用逢機完全區集設計(RCBD)，三重復，各次田間試驗之肥料(氮、磷、鉀肥)施用量及方法如表3。莧菜種子播種量10 kg ha^{-1} (6 g $subplot^{-1}$)，乃將種子與乾燥碎土充分混合後均勻撒佈土面。每一處理小區面積1.5 m ×5.0 m (7.5 m^2)，畦溝寬0.3 m。

表1. 栽植於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所試驗農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L. cv. TNG 1)栽培措施

Table 1. Field practices for planting *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, at Taiwan Agricultural Research Institute Experimental Farm, Wufeng, Taiwan

Experiment	Date	Field practice
1st experiment	03/08/2001	Field plowing; soil analysis
	03/11/2001	Fertilization with basal dose (Table 2); furrow irrigation
	03/13/2001	Sowing
	03/13-26/2001	Sprinkling irrigation daily
	03/23/2001	Hand weeding
	03/27-04/09/2001	Furrow irrigation every other day
	04/10/2001	Sampling; harvest
2nd experiment	08/17/2001	First field plowing; covered the ground with PE plastics
	09/14/2001	Second field plowing; soil analysis; fertilization with basal dose (Table 2); furrow irrigation
	09/17/2001	Sowing
	09/17-30/2001	Sprinkling irrigation daily
	10/01/2001	Hand weeding; fertilization additional dose (Table 2)
	10/01-23/2001	Furrow irrigation every other day
	10/23/2001	Sampling; harvest
3rd experiment	02/12/2002	Application of $CaSiO_3$ (30,000 kg ha^{-1}) to neutralize pH of surface layer (0.3 m); first field plowing
	03/05/2002	Soil analysis; application of organic fertilizer (Table 4), 5,000 kg ha^{-1}; field plowing; fertilization with basal dose (Table 2)
	03/09/2002	Furrow irrigation
	03/12/2002	Sowing
	03/12-25/2002	Sprinkling irrigation daily
	03/26/2002	Hand weeding; fertilization additional dose (Table 2)
	03/26-04/09/2002	Furrow irrigation every other day
	04/10/2002	Sampling; harvest
4th experiment	08/03/2002	First field plowing; covered the ground with PE plastics
	08/28/2002	Second field plowing; fertilization basal dose (Table 2)
	09/02/2002	Furrow irrigation
	09/03/2002	Sowing
	09/03-14/2002	Sprinkling irrigation daily
	09/15/2002	Hand weeding; fertilization additional dose (Table 2)
	09/15-10/01/2002	Furrow irrigation every other day
	10/02/2002	Sampling; harvest

表 2. 試驗田區每次播種莧菜(*Amaranthus mangostanus* L. cv. TNG 1)前取樣之土壤分析結果

Table 2. Soil properties measured before planting of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1

Date & Treatment (N-P_2O_5-K_2O)	pH	Electrical conductivity ($\mu S\ cm^{-1}$)	Organic matter (%)	Ammonium nitrogen (NH_4^+ - N, $mg\ kg^{-1}$)	Nitrate nitrogen (NO_3^- - N, $mg\ kg^{-1}$)
03/08/2001					
0-60-60	5.17	70.91	1.27	7.50	5.40
30-60-60	5.24	71.31	1.28	8.90	8.90
60-60-60	5.17	70.25	1.18	8.10	5.90
120-60-60	5.23	62.29	1.14	7.90	6.60
09/14/2001					
0-60-60	5.35	29.58	1.16	5.58	7.89
60-60-60	5.36	34.25	1.20	3.90	8.34
120-60-60	5.37	30.00	1.17	3.00	11.35
180-60-60	5.36	33.31	1.16	3.06	9.73
240-60-60	5.31	32.36	1.19	4.05	10.57
03/05/2002					
0-60-60	6.34	61.57	2.24	2.95	10.69
60-60-60	6.33	61.22	2.08	2.54	10.39
120-60-60	6.23	57.40	2.06	2.69	9.98
180-60-60	6.30	58.32	2.11	2.69	8.81
240-60-60	6.33	53.80	2.00	1.89	8.70
360-60-60	6.32	55.67	2.33	2.76	7.83
08/28/2002					
0-60-60	6.59	117.70	2.07	1.05	50.01
60-60-60	6.48	101.90	2.21	0.68	32.62
120-60-60	6.35	138.00	2.03	1.59	79.39
180-60-60	6.54	104.10	2.16	1.93	49.26
240-60-60	6.54	106.80	2.04	0.77	49.62
360-60-60	6.43	136.10	2.09	0.81	64.63

表 3. 不同田間試驗施用之肥料及氮肥處理(肥料：硝酸銨-過磷酸鈣-氯化鉀)

Table 3. Fertilizer application methods and nitrogen treatments for the experiments (Fertilizers: Ammonium nitrate-Ordinary superphosphate-Potassium chloride)

Treatment (N-P_2O_5-K_2O)	Experiment	Basal dose ($g\ subplot^{-1}$)	Additional dose ($g\ subplot^{-1}$)
0-60-30	1	0-250-37.5	0-0-0
30-60-30	1	67-250-37.5	0-0-0
60-60-30	1	134-250-37.5	0-0-0
120-60-30	1	269-250-37.5	0-0-0
0-60-60	2,3,4	0-250-37.5	0-0-37.5
60-60-60	2,3,4	67-250-37.5	67-0-37.5
120-60-60	2,3,4	134-250-37.5	134-0-37.5
180-60-60	2,3,4	201-250-37.5	201-0-37.5
240-60-60	2,3,4	269-250-37.5	268-0-37.5
360-60-60	3,4	402-250-37.5	402-0-37.5

莧菜植株性狀與化學分析

每一作季當莧菜植株生長至採收時，則予量測植被之反射光譜，同時調查並分析莧菜地上部植體之鮮產量(kg m^{-2})、乾物質百分比(%)、硝酸鹽(%，鮮重)、全氮(%，乾重)及葉片葉綠素總量(mg g^{-1}，鮮重)。

葉片之葉綠素總量，係自各氮肥處理小區之光譜量測區域逢機取樣莧菜 6 株，在葉片上以打孔器擷取直徑 0.7 cm 之圓形片約 0.1 g，分析各株之葉綠素總量(leaf total chlorophyll)。再將每處理小區之剩餘植株樣本混合，經 70-80℃烘乾 72 h 後磨碎篩濾(0.1 mm)，取粉狀試材分析地上部植體全氮(aboveground N)含量。每處理小區至少三重複樣本分析，取平均值爲小區代表值。又每小區另割取 0.5 m ×0.5 m (0.25 m^2) 莧菜植株，稱取鮮產量(fresh yield)及乾產量(80℃烘乾約 48 h)。再將烘乾試材磨碎，通過 20 mesh 篩網，取粉狀試材分析硝酸鹽(nitrate)。

葉片之葉綠素總量化學分析方法係參照 Arnon(1949)之修正，如李等(2002)、楊等(2003)、Lee & Yang (1999)及 Yang & Lee (2001)，將每株均各取約 0.1 g 葉圓片，加入約 0.1 g 海砂及約 2 ml 液態氮，以研杵磨碎後加入 80%丙酮 10 ml 萃取出葉綠素，溶液以 2,500 rpm (825 *g*) 離心 10 min。取上層溶液以光電比色計(model DU-68, Beckman Inc., USA)讀取吸收率測值，由下列公式計算葉綠素總量: Leaf total chlorophyll (mg)= (D652xV) /34.5×W，其中 D652 爲在 652 nm 波長之吸收率測值，V 爲上層溶液之容積(ml)，W 爲葉片樣本之鮮重(g)。

莧菜地上部植體全氮含量測定，係以修正之 Kjeldahl 方法分析全氮含量，如李等(2002a)及楊等(2003)。將各處理小區混合植株磨篩之粉狀材料秤取約 0.05-0.1 g 樣本，每小區 3-6 重複，各樣本置入 50 ml 分解瓶，加入 0.2 g 催化劑(K_2SO_4:$CuSO_4$·$5H_2O$: Se= 50:10:1, w/w)及 36 N 濃硫酸 4 ml，於 360-410 ℃電爐上加熱約 2 h 至溶液呈淡青綠色，取出冷卻至室溫後加入去離子水(NANOpure, Ultrapure Water System, Barnstead/ Thermolyne Inc., Iowa, USA)至 50 ml 稀釋之。經均勻混合後，取 5 ml 稀釋液於蒸餾管，加入 10 N NaOH 溶液 5 ml，以蒸餾方式收取冷凝之蒸氣於加溴酚藍之 4%硼酸溶液(4 ml)。當顏色由紅轉成紫藍，再以 0.01 N HCl 溶液滴定，使顏色由紫藍再轉成紅爲止，記錄滴定量。樣本全氮含量(%)由下列公式計算: N (%)=(0.01×W_N×V×50 ml/5 ml×1/W)×100%，其中 V 爲 HCl 之滴定量(ml)，W 爲樣本重量(mg)，W_N 則爲氮素原子量(14 g)。

地上部植體硝酸鹽之化學分析如王等(1994a, 1994b)方法，秤取前述 0.25 m^2 莧菜植株混合磨篩之粉狀樣品 0.1g 置於 20 ml 試管，加純水 10 ml 後振搖混勻，置於 80℃水浴震盪器以 180 rpm 轉速震盪 30 min。取出冷卻，加一小匙活性碳脫色，過濾後溶液(抽出液)以紫外光分光光度計(U-2000, Hitachi, Ltd., Japan)量測，波長設於 210 nm。若吸收率測值大於標準曲線範圍，則溶液加入純水稀釋，再讀取測值。標準曲線製作，係配製含有 0、1、2、3、4 及 5 mg L^{-1} 硝酸鹽的標準溶液，經紫外光分光光度計(210 nm)，繪製濃度與吸收率的迴歸曲線，決定係數(R^2)大於 0.995。本試驗之樣品若曾經稀釋，再乘上稀釋倍數(如 0.1 g 加水 10 ml 爲 100 倍)，使符合標準曲線範圍之樣本分析測值，以換算出乾燥樣本之硝酸鹽含量及新鮮樣本硝酸鹽含量。

表 4. 第三次田間試驗施用之有機牛糞堆肥組成分及碳氮比(pH 8.7, Electrical conductivity: 13.9 dS m^{-1})

Table 4. Chemical compositions and c/n ratio of the organic compost (pH 8.7, electrical conductivity: 13.9 dS m^{-1}) applied in the third experiment

Item	Percentage (%)
Organic matter	53.90
Total nitrogen	1.79
P_2O_5	1.93
K_2O	3.39
CaO	3.40
MgO	1.62
Na	0.58
C/N ratio (%)	16.40

篩檢莧菜植被光譜特徵及建立估測性狀之光譜特徵模式

莧菜植被反射光譜近地面量測係以田間攜帶式高解析輻射光譜分(層)析儀(spectroradiometer, model GER-2600, Geophysical & Environmental Research Corp., Millbrook, NY, U.S.A.)爲之，量測不等氮肥施用量之各處理小區植被反射光輻射(radiance)，量測波段範圍介於 350-2400 nm；其中 350-1050 nm 波段範圍之波距(bandwidth)約 1.5 nm，1050-2400 nm 波段範圍之波距 11.5 nm。光譜分析儀之矩陣式光輻射感測器具有 10 度視角(FOV)，固定於距離植被約 1.5 m 之高空作業車(mobile lift)上，以垂直方式偵測(nadir viewing)植被之反射光譜，每測點約爲直徑 0.26 m 之圓面積區域。每一處理小區逢機量測 6 個不同目標測點植被光譜，每一目標測點預設爲 4 次掃描之平均值，再取 6 目標區測值之均值爲該處理小區之代表值。反射比(%)係由植被目標區域之各窄波對光輻射除以同波段之標準白板('Spectralon', Labsphere, Inc., USA)反射光輻射(即參考值)來計算，由各窄波段與其對應之反射比描繪出反射光譜曲線。植被光譜量測時間約自上午 10:00 至 11:30 之間，選擇幾近晴朗無雲時段偵測，以減少太陽入射角及遮雲的干擾。

光譜特徵之篩檢係先將反射光譜(350-2400 nm)之各窄波段反射比與調查性狀進行簡單直線相關強度分析，篩檢與調查性狀最大絕對值相關係數之窄波段位置，並繪出該窄波段反射比與調查性狀之關係曲線。續計算不同植被光譜指數(canopy spectral index)，比較各光譜指數與調查性狀之相關，找出相關顯著之特定光譜指數。光譜指數中，由反射光譜曲線之波形篩檢綠光波段之反射比峰點(GREEN)、紅光波段之反射比谷點(RED)及近紅外光波段之反射比頂點(NIR)爲光譜曲線特徵窄波段，由三窄波段反射比之個別及相互比值探討 GREEN、RED、NIR、RED/NIR ratio、GREEN/NIR ratio、RED/GREEN ratio、NDVI 及紅光臨界斜率(RES, red edge slope)等光譜指數和調查性狀之關係。其中，NDVI 爲(NIR-RED)/(NIR+RED)之比值，RES 爲(NIR-RED)/2 反射比所在窄波段位置(λ(NIR-RED)/2)之斜率，而 λGREEN、λRED、及 λNIR 則分別爲反射比 GREEN、RED 及 NIR 之窄波段中心位置。

統計分析

多元直線複迴歸分析(multiple linear regression analysis)係由統計軟體 SAS 8.1 進行共線性分析(collinearity diagnostics)及逐步迴歸分析(step-wise regression analysis)，建立前三次田間試驗各調查性狀之決定係數大於 0.5 的多元直線迴歸模式，即變數最少且決定係數大於 0.5 之多元直線迴歸模式。前三次田間試驗資料亦經 SAS 8.1 進行作季間的虛擬變數(dummy variable)檢定，發現作季間資料未達顯著水準，因此將前三次田間試驗資料合併分析，以提高模式在不同作季之適用性。

結　果

將前三次田間試驗莧菜採收前量測各氮肥處理小區植被反射光譜範圍(350-2400 nm)之各窄波段反射比與調查性狀進行簡單直線相關分析，獲得之相關強度曲線繪於圖 1。相關強度曲線顯示各窄波段之反射比與各調查性狀之相關程度不一，地上部鮮產量、葉片葉綠素總量、乾物質百分比(percent dry matter)、葉面積(leaf area)、地上部植體硝酸鹽含量及地上部植體全氮含量等性狀之相關係數絕對值最大之窄波段位置，分別座落於 767 nm (r=-0.741**)、574 nm (r=-0.492*)、779 nm (r=-0.645**)、574 nm (r=-0.628**)、1975 nm (r=0.697**)及 577 nm (r=-0.506*)。這些特定光譜特徵之反射比與調查性狀實測值之迴歸分析結果列於圖 2，顯示直線迴歸模式可以反映光譜特徵與性狀之關係。

將另一次(即第四次)田間試驗植被光譜之各光譜特徵反射比輸入上述之直線迴歸模式求取估測值，以與第四次試驗之實測值進行比較，檢驗所建立迴歸模式之適用性(圖 3)。根據比較結果，以葉片葉綠素總量(R^2=0.228, P=0.045)及地上部植體全氮含量(R^2=0.492, P=0.001)等二性狀之估測值與實測值相關顯著。

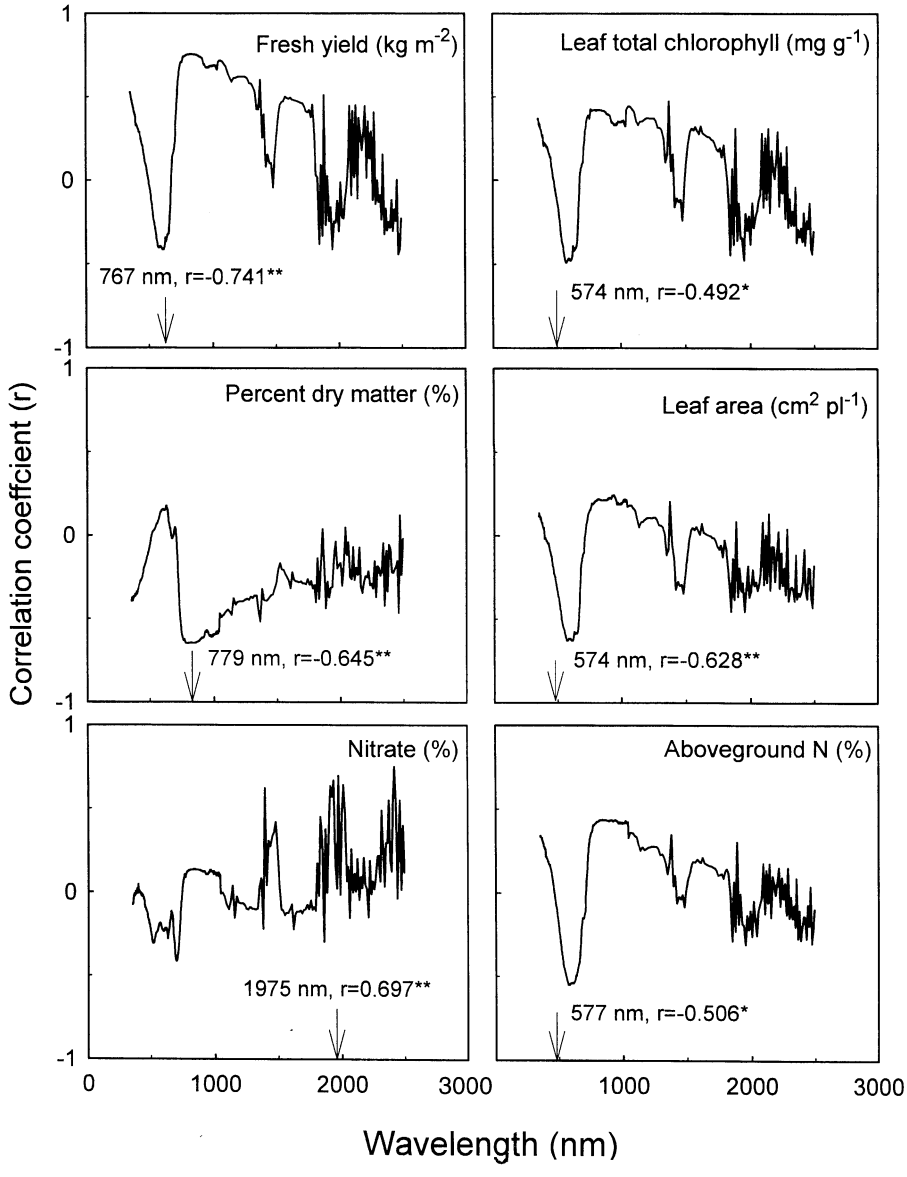

圖 1. 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植被反射光譜(350-2400 nm)各窄波段反射比與六種不同植株性狀之相關強度分析曲線。圖中標示出最大絕對值相關係數所在窄波段位置。

Fig. 1. Correlation intensity analyses of canopy spectral reflectance in the range of 350-2400 nm to six different plant characters for *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002. The narrow wavebands at the maximum absolute value of correlation coefficient were marked.

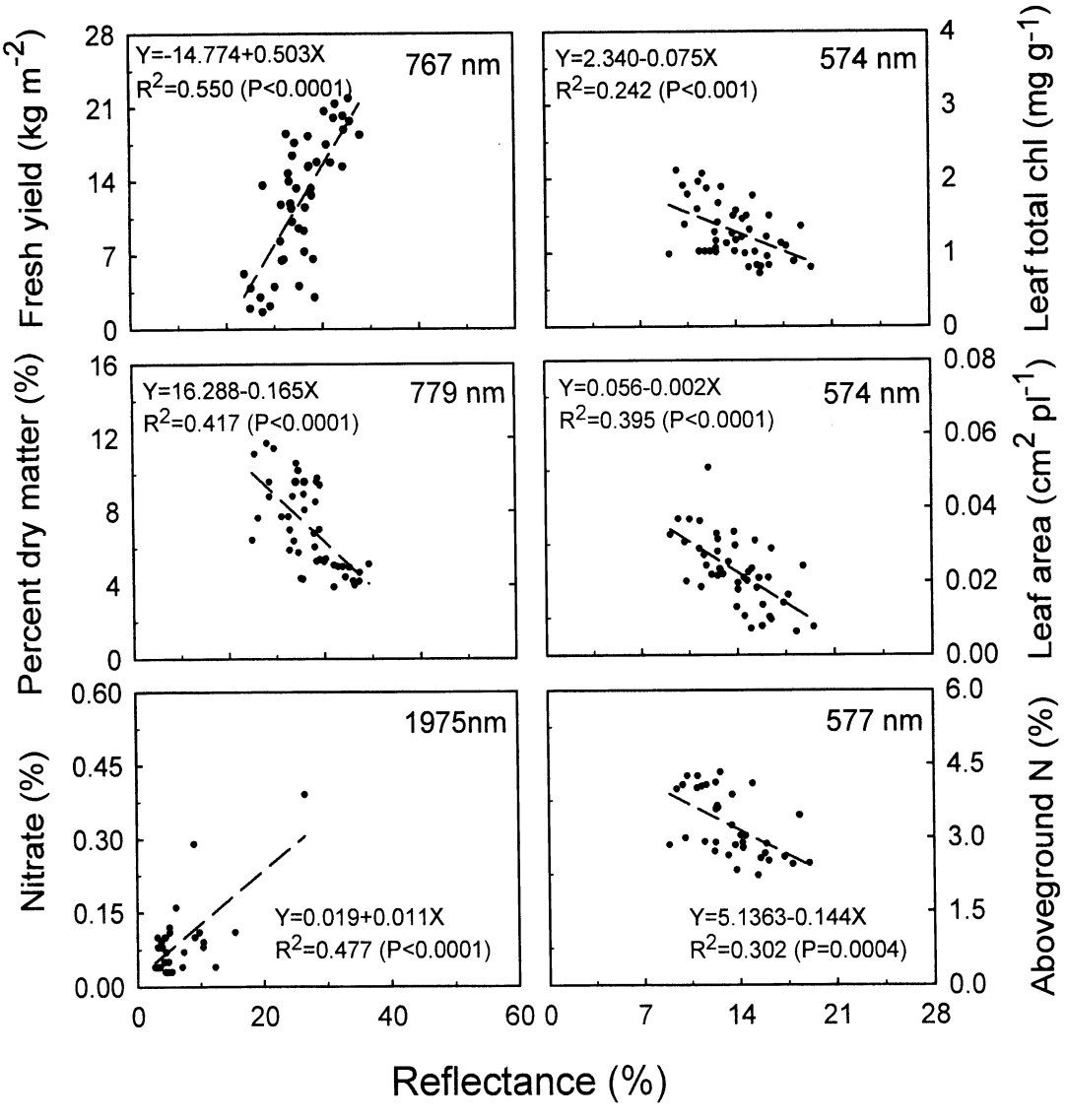

圖 2. 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株六種不同植株性狀與相對應植被反射光譜中最大絕對值相關係數所在窄波段位置反射比之直線迴歸相關。

Fig. 2. The linear relationships between different plant characters and corresponding canopy spectral reflectance at the maximum value of correlation coefficient for *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.

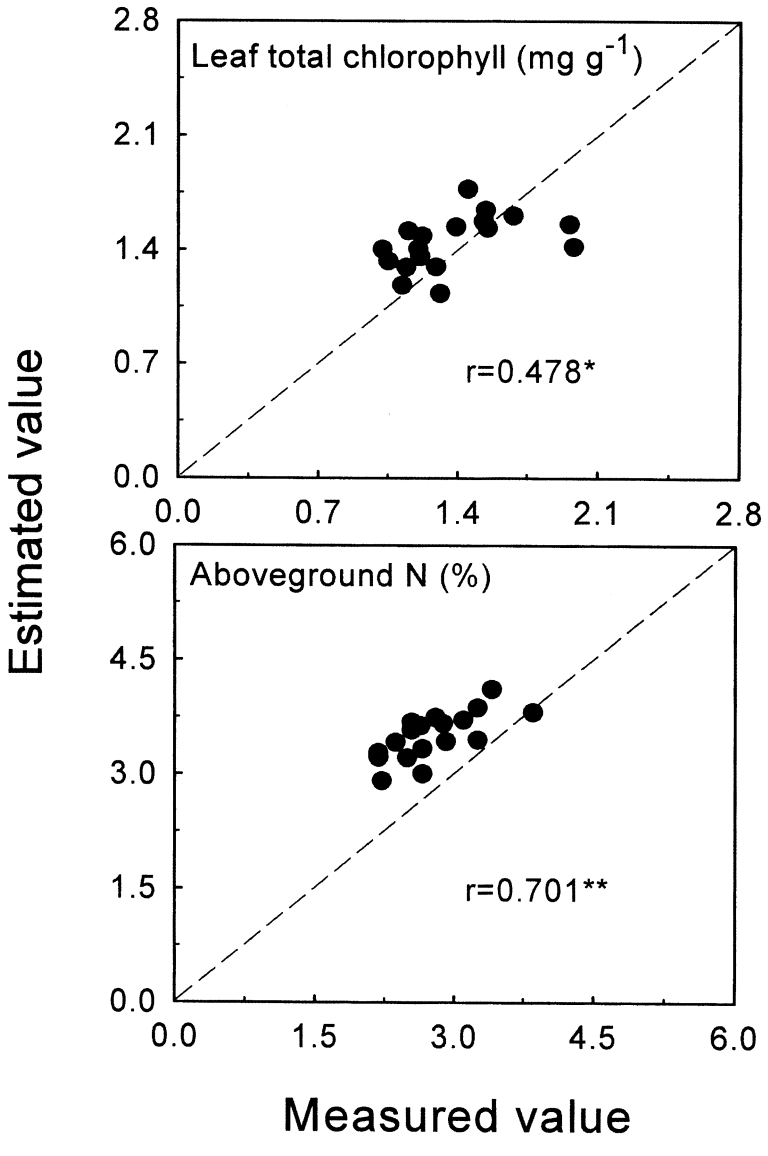

圖 3. 田間試驗資料驗證 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜 (*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株所建立葉片葉綠素總量及地上部植體全氮含量與相對應植被反射光譜中最大絕對值相關係數所在窄波段位置反射比之直線迴歸模式。

Fig. 3. Validation of linear regression models in leaf total chlorophyll and aboveground nitrogen with corresponding canopy spectral reflectance at the maximum value of correlation coefficient using data collected from another experiment for plants of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.

續分析八種植被光譜指數與六種調查性狀之關係，發現地上部鮮產量與 GREEN/NIR ratio、RED/NIR ratio 及 NDVI 等三光譜指數均呈現顯著直線相關(圖 4)，決定係數(R^2)分別爲 0.745($P<0.0001$)、0.750($P<0.0001$)及 0.753($P<0.0001$)。地上部植體全氮含量與 GREEN、RED/NIR ratio、GREEN/RED ratio 及 NDVI 等四光譜指數呈現曲線相關(圖 6)，決定係數(R^2)分別爲 0.287($P=0.0032$)、0.632($P<0.0001$)、0.418($P=0.0001$) 及 0.635($P<0.0001$)。葉片葉綠素總量則與 GREEN 及 GREEN/RED ratio 等二光譜指數呈現曲線相關(圖 8)，決定係數分別爲 0.215($P=0.0063$)及 0.260($P=0.0018$)。

又將第四次田間試驗之光譜指數輸入這些迴歸模式比較估測值與實測值後，發現估測值與實測值相關顯著(圖 5、圖 7 及圖 9)。

多元直線複迴歸分析結果顯示，在所調查前三次田間試驗的六項性狀中，地上部鮮產量及全氮含量可以二元直線迴歸模式表示，決定係數分別達 0.852 及 0.761；葉面積可以三元直線迴歸模式表示，決定係數 0.545；葉片葉綠素總量、地上部植體乾物質百分比及地上部植體硝酸鹽含量則可以四元直線迴歸模式表示，決定係數分別爲 0.697、0.693 及 0.822(表 5)。

經將第四次田間試驗之相對應光譜特徵輸入這些不同的多元直線迴歸模式比較估測值與實測值後，發現除了葉面積之外，其餘五項性狀之估測值與實測值相關均達顯著(圖 10)。

表 5. 莧菜(*Amaranthus mangostanus* L. cv. TNG 1)植株性狀之多元直線迴歸模式。各性狀之最佳 2 元、3 元或 4 元直線迴歸模式($R^2>0.5$)分列於表中

Table 5. Summary of multiple linear regression analyses for relationships between spectral reflectance of the selected narrow bands and plant characters of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1. The best 2-, 3-, and 4-variable models ($R^2>0.5$) for the specific characters are listed

	$Y_4=a+a_1R_{\lambda1}+a_2R_{\lambda2}+a_3R_{\lambda3}+a_4R_{\lambda4}$[y]							
Plant character	a	a_1	a_2	a_3	a_4	N	R^2	P
Fresh yield(kg m^{-2})[z]	0.155	-1.733	0.568			45	0.852	<0.0001
Leaf total chl(mg g^{-1})	1.027	0.281	-0.119	0.085	-0.089	45	0.697	<0.0001
Percent dry matter(%)	14.899	-0.933	0.605	-0.225	0.147	45	0.693	<0.0001
Leaf area(m^2 pl^{-1})	0.045	-0.003	-0.003	0.003		45	0.545	<0.0001
Nitrate(mg kg^{-1})	-0.035	0.051	-0.028	0.006	0.007	45	0.822	<0.0001
Aboveground N(%)	2.602	0.472	-0.238			38	0.761	<0.0001

[z] Fresh yield: λ1=609 nm, λ2=767 nm; leaf total chl: λ1=354 nm, λ2=574 nm, λ3=1022 nm, λ4=1038 nm; percent dry matter: λ1=352 nm, λ2=693 nm, λ3=779 nm, λ4=1604 nm; leaf area: λ1=574 nm, λ2=965 nm, λ3=1025 nm; nitrate: λ1=398 nm, λ2=514 nm, λ3=1392 nm; λ4=1975 nm; aboveground N: λ1=350 nm, λ2=577 nm.

[y] $Y_2=a+a_1R_{\lambda1}+a_2R_{\lambda2}$, $Y_3=a+a_1R_{\lambda1}+a_2R_{\lambda2}+a_3R_{\lambda3}$, and $Y_4=a+a_1R_{\lambda1}+a_2R_{\lambda2}+a_3R_{\lambda3}+a_4R_{\lambda4}$, respectively, are the best 2-, 3-, and 4-variable models for the specific characters; where Y_i is the estimated value of character, a_i is the parameter of λi, and $R_{\lambda i}$ is spectral reflectance of the selected narrow band λi.

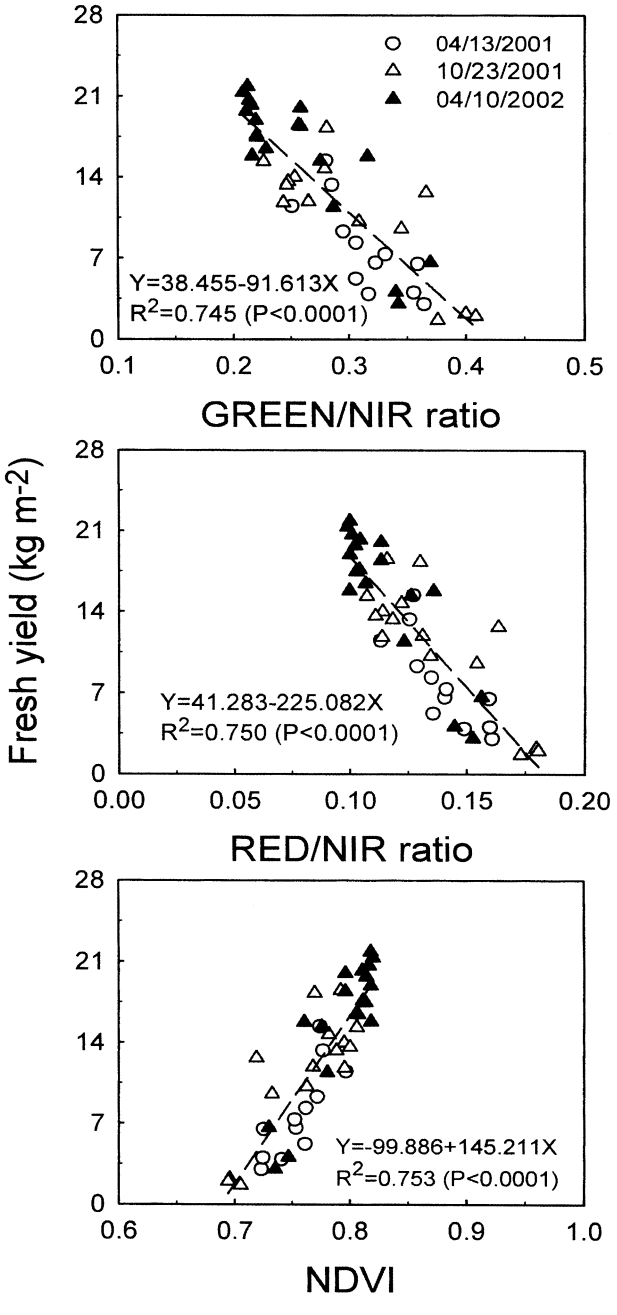

圖 4. 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)地上部鮮產量與不同植被光譜指數之直線迴歸相關。

Fig. 4. The linear relationships between fresh yield and different canopy spectral indices for *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002. (NDVI=Normalized Difference Vegetation Index.)

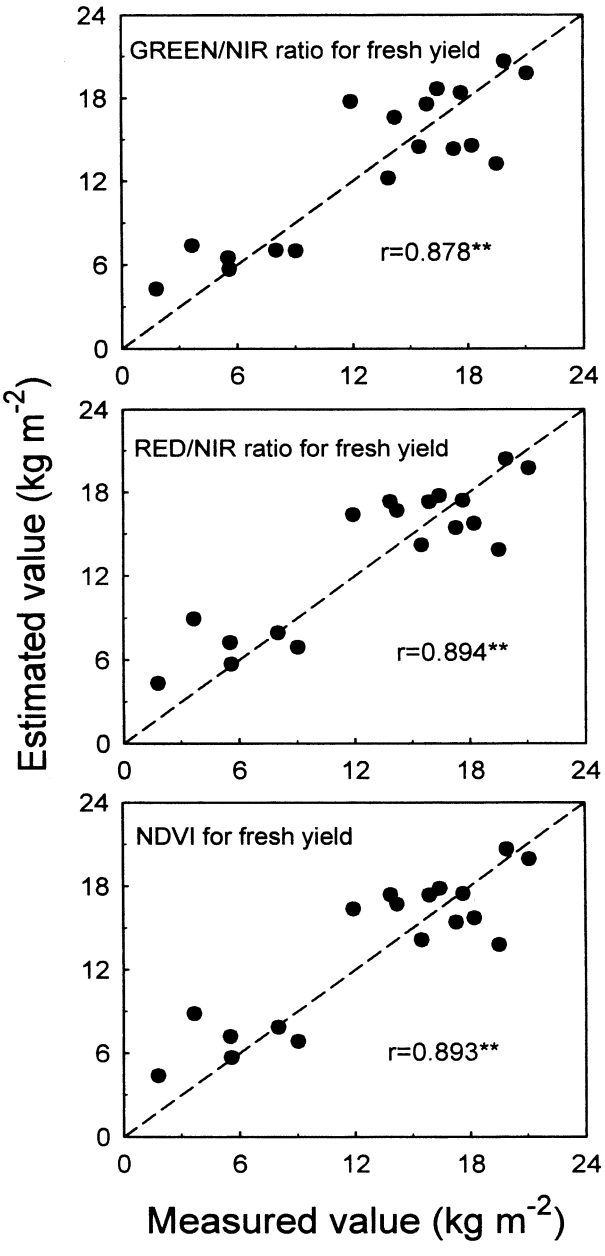

圖 5. 田間試驗資料驗證 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜 (*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株所建立地上部鮮產量與不同植被光譜指數之直線迴歸模式。*：5%顯著水準；**：1%顯著水準。

Fig. 5. Validation of linear regression models in fresh yield with various canopy spectral indices using data collected from another experiment for plants of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.*,**, Significant at 5% and 1% levels, respectively.

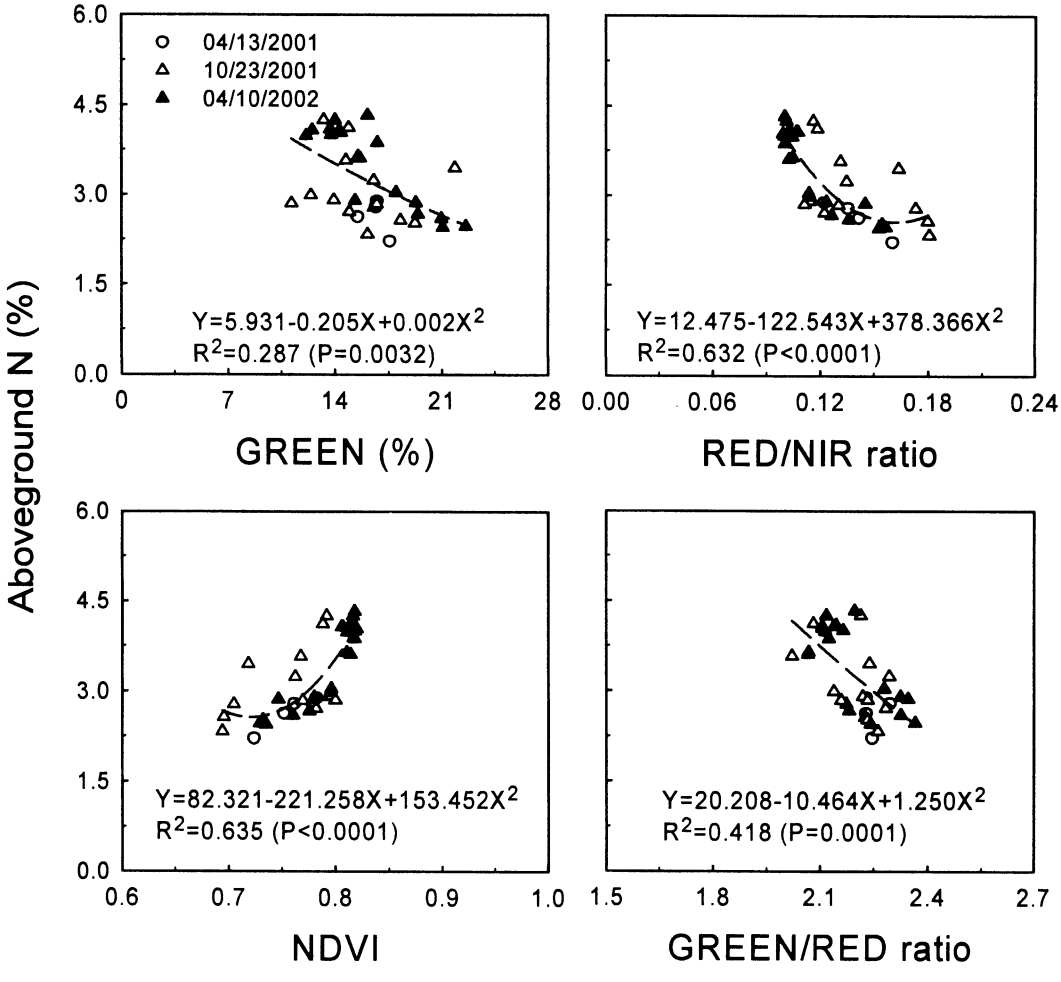

圖 6. 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)地上部植體全氮含量與不同植被光譜指數之曲線迴歸相關。

Fig. 6. The curvilinear relationships between aboveground nitrogen and different canopy spectral indices for *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002. (NDVI=Normalized Difference Vegetation Index.)

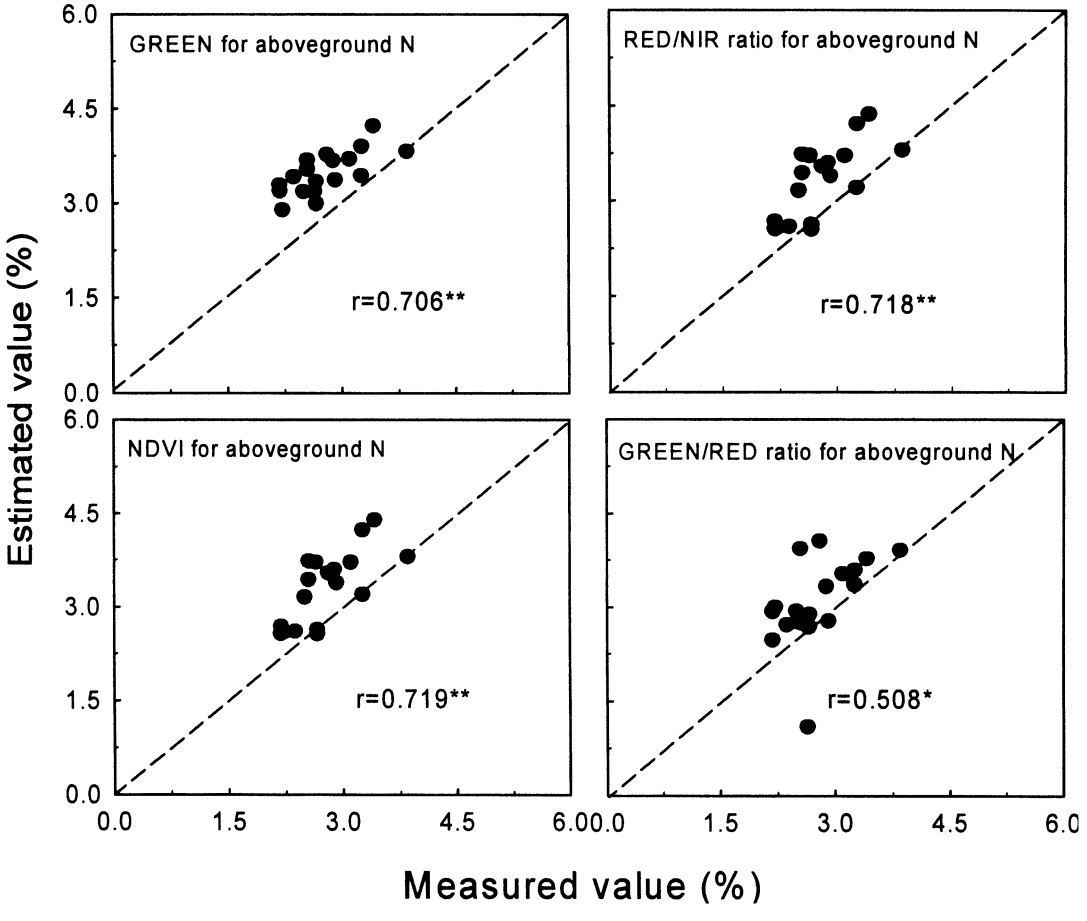

圖 7. 田間試驗資料驗證 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜 (*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株所建立地上部植體全氮含量與不同植被光譜指數之曲線迴歸模式。

Fig. 7. Validation of curvilinear regression models in aboveground nitrogen with various canopy spectral indices using data collected from another experiment for plants of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002. (NDVI=Normalized Difference Vegetation Index.)

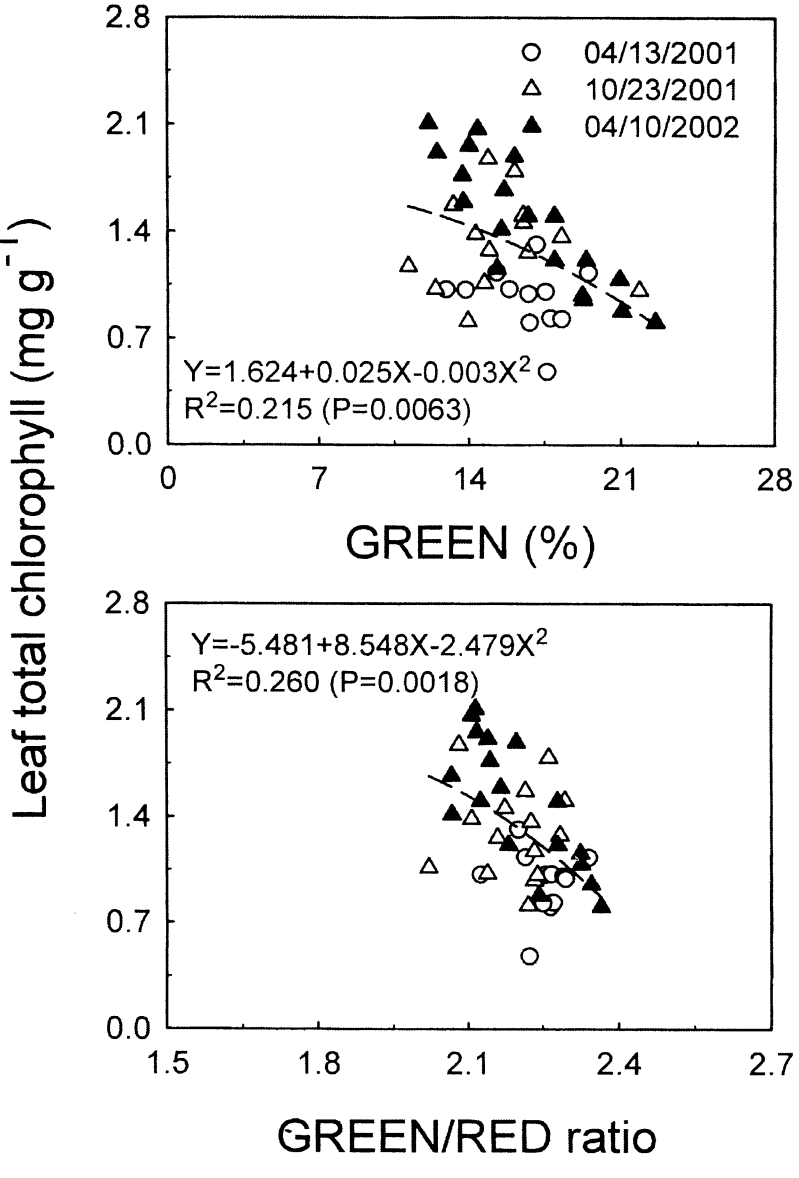

圖 8. 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜(*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)葉片葉綠素總量與不同植被光譜指數之曲線迴歸相關。

Fig. 8. The curvilinear relationships between leaf total chlorophyll and different canopy spectral indices for *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.

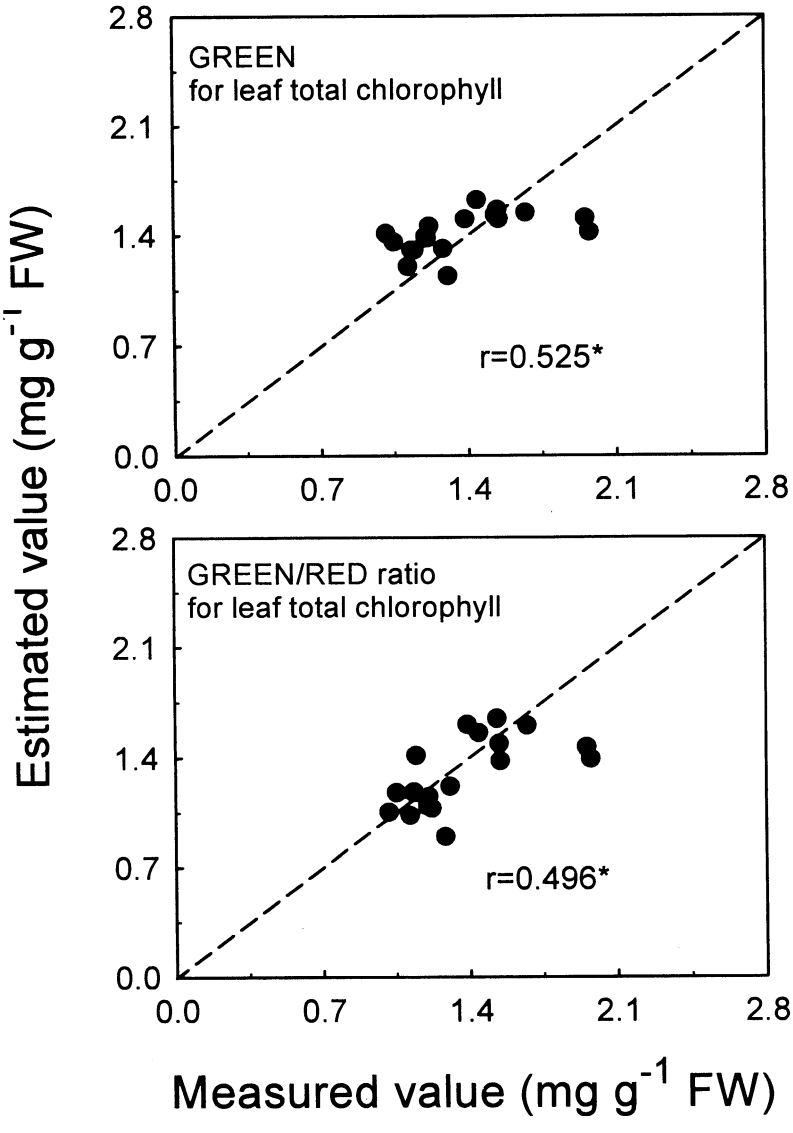

圖 9. 田間試驗資料驗證 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜 (*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株所建立葉片葉綠素總量與不同植被光譜指數之曲線迴歸模式。

Fig. 9. Validation of curvilinear regression models in leaf total chlorophyll with various canopy spectral indices using data collected from another experiment for plants of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.

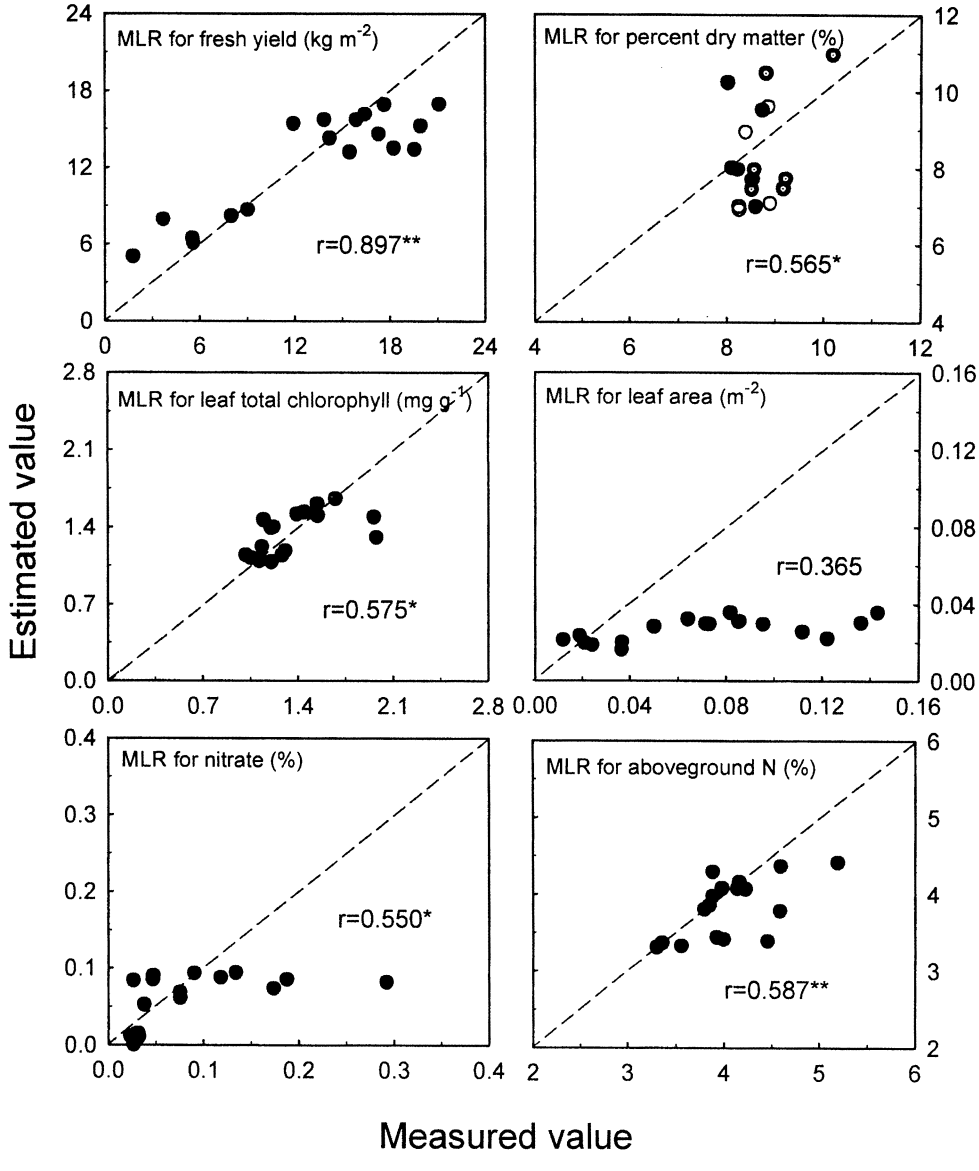

圖 10. 田間試驗資料驗證 2001-2002 年生長季節栽培於臺中縣霧峰鄉行政院農委會農業試驗所農場之莧菜 (*Amaranthus mangostanus* L., cv. TNG 1)植株所建立六種不同植株性狀與不同植被光譜特徵之多元直線迴歸模式。

Fig. 10. Validation of multiple linear regression models in six different plant characters with corresponding spectral characteristics using data collected from another experiment for plants of *Amaranthus mangostanus* L., cultivar TNG 1, grown at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) in the growing seasons of 2001-2002.

討　論

本研究共進行四次田間試驗，觀察施以不等量氮素肥料之莧菜植株表現，根據植被外觀，顯示出氮肥施用量將影響莧菜生長與生產，可歸之於植被外觀徵狀的綜合反應。然而文獻資料指出(張等 1998；Maynard *et al.* 1976)，施用高量氮肥雖有增產效果，卻可能促進蔬菜(如甘藍)葉片中硝酸態氮含量的升高。由於當累積的硝酸鹽達一定程度後即有可能危害人體健康(Tadeo 1994)，而且土壤內高氮素含量是植體累積硝酸鹽的主要因子(Kowal & Barker 1981)。因此建議在追求增產的同時，仍應考慮適量氮肥的施用，以及過量植體硝酸鹽含量之負面影響。

由前三次田間試驗於採收前量測之植被反射光譜各窄波段反射比與調查性狀進行簡單直線相關分析結果，可知各窄波段之反射比與各調查性狀之相關程度不一(圖 1)，而且不同性狀之相關係數絕對值最大之窄波段位置亦不一致，地上部鮮產量、葉片葉綠素總量、乾物質百分比、葉面積、地上部植體硝酸鹽含量及地上部植體全氮含量等性狀分別座落於 767 nm、774 nm 、779 nm、574 nm 、1975 nm 及 577 nm。續由這些特定光譜特徵反射比與調查性狀實測值之迴歸分析結果，顯示直線迴歸模式可以反映光譜特徵與性狀之關係(圖 2)，據此本研究前三次田間試驗於採收時段之各性狀表現，可藉由各特定光譜特徵之反射比予以估測，顯示分別受到植被覆蓋率、葉綠素產生、光合作用效率及植體水分含量等多重影響(Clevers, 1986; Elvidge & Chen, 1995; Tucker, 1979)。但是經以另一次(即第四次)田間試驗之各光譜特徵反射比輸入上述之直線迴歸模式求取估測值與實測值比較後(圖 3)，則發現僅葉片葉綠素總量及地上部植體全氮含量等二性狀之估測值與實測值相關顯著，顯示惟有此二項性狀前三次田間試驗測值建立之單波段迴歸模式適用於第四次田間試驗條件，具有較爲穩定的反應、對應徵狀及敏感光譜特徵，而其他四項調查性狀並無法以單一窄波段光譜特徵予合理估測。

在水稻的研究上，Yang (2001)發現施用不等量的氮肥將影響水稻植被反射光譜，其中有六個窄波段可以反應出不等氮肥量造成的差異。經進一步探討，更篩檢出 1376 nm 窄波段之反射比對稻株葉片氮素含量具有敏感反應。由於最適窄波段位於短波紅外光波段，可見氮素含量的高低將影響水稻組織結構及水分含量。李等(2002b)的報告則指出，在近紅外光的 735 nm 窄波段微分值與稻株幼穗形成期的氮素含量呈顯著正相關，則反應出氮素對植被覆蓋表現的密切影響。惟此波段反射比與氮素含量關係爲一曲線相關，因此限制了此光譜特徵在高氮素含量狀況下的估測。該項研究結果顯示了外施氮素肥料確實將會改變作物植被反射光譜的波動，而內在植體的氮素含量高低可以反應在光譜特徵的改變，因此若能篩檢出屬於植體大量元素的氮素相對應的光譜特徵，將可據以推估植體的氮營養狀態。然而值得注意的是，此一光譜特徵的篩選應當符合理論邏輯，能夠解釋氮素變化造成生理代謝或外觀徵狀上的差異，投射在直接或間接上的關聯。李&楊(2002)在水稻單葉光譜研究上，發現紅光波段及藍光波段計有四條與葉綠素高相關之光譜特徵，其中以紅光波段 664、652 及 644 nm 之決定係數(R^2)高於藍光波段之 434 nm。本研究在所調查莧菜的六項性狀，似乎與植被生長有關的近紅外光(如地上部鮮產量、葉片葉綠素總量、乾物質百分比)、顏色有關的可見光(如葉面積、地上部植體全氮含量)及水分含量有關的中紅外光(如地上部植體硝酸鹽含量)等變動相連結，其互動關係，則仍待深入探究。

遙測技術的發展與應用，自從美國大地衛星 Landsat 於 1972 年發射及後續資源衛星升空從事商業運轉以來，已有非常驚人的進步。針對衛星波段和地物關係的研究及應用，由於早期的衛星多以寬頻感測器爲主，因此光譜指數(spectral index)的衍生獲得普遍的認同及採用。光譜指數通常選用 1-3 個特徵波段，依波段代表的物理化學意義組合成邏輯運算式，用以連結作物植被的外觀徵狀而賦予估測與追蹤的功能(Anderson & Hanson 1992; Baret & Guyot 1991; Clevers 1986; Elvidge & Chen 1995; Gilabert *et al.* 1996; Huete 1988; Wiegand *et al.* 1991)。例如，紅光波段的反射比被發現與葉綠素濃度呈現反比關係，近紅外光波段反射比則與葉面積大小爲正相關(Knipling 1970; Price 1992; Price & Bausch 1995;

Tucker 1979)。這些基於波段比值所建立的光譜指數，例如 NDVI (Rouse *et al.*, 1974)及 SAVI (soil-adjusted vegetation index，土壤校正植被指數) (Huete 1988)，也由於具有降低光源背景干擾的作用而普受歡迎，其資料的取得與計算均簡便易行。目前光譜指數已被廣應用於許多農業生產模式及過程，包括估測與追蹤生長表現、評估栽培管理措施成效等(Clevers 1986; Elvidge & Chen 1995; Gilbert *et al.* 1996; Rouse *et al.* 1974; Tucker *et al.* 1979).

本研究在植被光譜指數與調查性狀之關係分析結果，發現光譜指數與調查性狀之相關性不一，地上部鮮產量與 GREEN/NIR ratio、RED/NIR ratio 及 NDVI 等三光譜指數呈顯著直線相關(圖 4)，地上部植體全氮含量與 GREEN、RED/NIR ratio、GREEN/RED ratio 及 NDVI 等四光譜指數呈曲線相關(圖 6)，而葉片葉綠素總量則與 GREEN 及 GREEN/RED ratio 等二光譜指數呈曲線相關(圖 8)。經將另一次田間試驗之光譜指數輸入這些迴歸模式比較估測值與實測值後，發現此三項調查性狀前三次田間試驗測值建立之迴歸模式適用於第四次田間試驗條件。換言之，在本研究之四次田間栽培環境下，地上部鮮產量、葉片葉綠素總量及地上部植體全氮含量等三項性狀可由特定光譜指數予以合理估測。同樣的，不同調查性狀與特定植被光譜指數的相關，雖然均與 GREEN、RED 及 NIR 等三項光譜特徵代表的生理與形態意義有關，在光譜特徵之間的消長和比例變化及其與性狀的關係尚未完全釐清之前，上述迴歸模式仍屬於半機制式模式(semi-mechanistic models)。

爲提高模式涵蓋試驗資料之變異性，再進行多元直線複迴歸分析。結果顯示在所調查前三次田間試驗的六項性狀中，地上部鮮產量及全氮含量可以二元直線迴歸模式表示，葉面積可以三元直線迴歸模式表示，葉片葉綠素總量、地上部植體乾物質百分比及地上部植體硝酸鹽含量則可以四元直線迴歸模式表示(表 5)。經將另一次田間試驗之相對應光譜特徵輸入這些不同的多元直線迴歸模式比較後，發現除了葉面積之外，其餘五項性狀可藉由特定之多元直線迴歸模式提高對性狀變異的估測準確度，適用於本研究栽培環境(圖 10)。

綜合本研究結果，顯示可由莧菜植被反射光譜篩檢出特定的光譜特徵，由光譜特徵與性狀之迴歸模式進行對植株生長及植體氮素狀態等性狀的估測。不同的光譜特徵及其組合(如單一窄波段、光譜指數及多元直線迴歸模式)，各有其適用栽培環境和性狀，對性狀變異範圍的估測準確度亦不相等。又研究亦發現，組合多個光譜特徵之多元直線迴歸模式確可提高對莧菜植株生長及氮素狀態合理估測的準確度，尤其是針對莧菜植體硝酸鹽含量的估測需要較多植被光譜特徵，以提高估測準確度。由於莧菜採收當時的植被覆蓋率已達 100%，因此本研究量測之植被反射光譜並未受到土壤背景之干擾，試驗結果當可延用於田間實際栽培狀況。陳&楊(2002)在水稻的研究上，也篩檢出單一窄波段光譜特徵以估測稻株生長，並由多元直線複回歸分析選取 2-3 個光譜特徵建立多特徵窄波段組合的多元直線迴歸模式，獲得較高準確度之估測。雖然本研究之試驗結果顯示其實用性，然而有關所篩檢出的光譜特徵組合與調查性狀之間的學理依據，仍需要解剖學、生理學、物理化學及形態學等專業領域上的進一步探討與敘理，才能眞正奠定完整的理論基礎。

誌　謝

本文研究承行政院農業委員會農業試驗所經費(91 農科-5.1.3-農-C1)支持，特以致謝。

引用文獻

李裕娟、楊純明。2002。水稻單葉光譜特徵與葉綠素濃度之關係。航測及遙測學刊。7(4):41-52。

李裕娟、楊純明、張愛華。2002a。施用氮肥對水稻植株氮素、葉綠素及植被反射光譜之影響。中華農業研究 51(1):1-14。

李裕娟、張愛華、申雍、章國威、楊純明、羅正宗。2002b。稻株氮營養狀態檢測技術。p.102-112。應用於水稻精準農業體系之知識與技術。楊純明、林俊義主編。行政院農業委員會農業試驗所出版，臺中縣。

吳正宗、王銀波。1995。一些影響小白菜硝酸態氮含量的環境因子。中國農業化學誌 3(2):125-133。

陳榮坤、楊純明。2002。以近地面高解析植被光譜及模擬 SPOT 衛星寬頻光譜估測水稻生長性狀的變化。中華農業研究 51(4):1-18。

張建生、呂文通、詹朝清。1998。不同型態氮肥對結球菜類生育之影響。臺灣省花蓮區農業改良場研究彙報 16:59-72。

楊月玲。1995。設施內遮光處理對小白菜之生長及生理影響。國立中興大學園藝研究所碩士論文，臺中市。86 pp。

楊純明、沈百奎、余志儒、羅朝村、吳正宗。2003。利用葉綠素測計估測莧菜植體葉綠素及氮素狀態。中華農業研究 52(2):105-116。

農業統計年報。1999。中華民國八十八年農業統計年報。行政院農業委員會編印，臺北市。428 pp。

蔡素惠、黃山內、楊秋忠。1995。有機及化學肥料對小白菜之生長、硝酸態氮及維生素含量之響。中華農學會報新 158:58-77。

Addiscott, T. M., A. P. Whitmore and D. S. Powlson. 1991. Farming, Fertilizers and the Nitrate Problem. 5. C.A.B. International, Wallingford, UK. 176 pp.

Anderson, G. L. and J. D. Hanson. 1992. Evaluating hand-held radiometer derived vegetation indices for estimating above ground biomass. Geocarto Intl. 1:71-78.

Arnon, D. I. 1949. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidases in *Beta vulgaris*. Plant Physiol. 24:1-15.

Baret, F. and G. Guyot. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. Remote Sens. Environ. 35:161-174.

Boldgett, J. and E. A. Clark 1986. Fertilizers, nitrates, and groundwater: an overview. p.1-15. In: Colloquium on Agrichemical Management of Protecting Water Quantity. National Research Council, Washington, D.C.

Boon, Van der, J. W. Steenhuizen and E. G. Steingrover. 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH_4/NO_3 ratio and temperature of the recirculation nutrition solution. J. Hortic. Sci. 65:309-321.

Cantliffe, D. J. 1972a. Nitrate accumulation in spinach grown under different light intensities. J. Amer. Soc. Hortic. Sci. 97(2):152-154.

Cantliffe, D. J. 1972b. Nitrate accumulation in vegetable crops as affected by photoperiod and light duration. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 97(3):414-418.

Cantliffe, D. J. 1972c. Nitrate accumulation in spinach grown at different temperatures. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 97(5):674-676.

Clevers, J.G.P.W. 1986. The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of LAI. p.215-220. *In* Proceedings of Symposium on Remote Sensing for Resources Development and Environmental Management. M.C.J. Damen, G. Sicco Smit and H. TH. Vers Tappe (eds.) August 1986, Balkema, The Netherlands.

Elvidge, C.D. and Z. Chen. 1995. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. Remote Sens. Environ. 54:38-48.

Forman, D., S. Al-Dabbagh and R. Doll. 1985. Nitrates, nitrites and gastric cancer in Great Britain. Nature

313:620-625.

Gilabert, M.A., S. Gandia and J. Melia. 1996. Analyses of spectral-biophysical relationships for a corn canopy. Remote Sens. Environ. 55:11-20.

Hata, A. and K. Ogata. 1976. Studies on nitrate in horticultural products (part 5). J. Jpn. Soc. Food Sci. Tech. 23:132-137.

Huete, A.R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sens. Environ. 25:295-309.

Knipling, E.B. 1970. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sens. Environ. 1:155-159.

Kowal, J.J. and A.V. Barker. 1981. Growth and composition of cabbage as influenced by nitrogen nutrient. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 12:979-995.

Lee, Y.J. and C.M. Yang. 1999. Relationship of plant growth and chlorophyll content in field-grown rice. Chinese J. Agromet. 6:191-200.

Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition in Higher Plant. Academic Press, New York, USA. p.230-255.

Martignon, G., A. Venezia and F. Malorgio. 1994. Nitrate accumulation in celery as affected by growing system and N content in the nutrient solution. Acta Hortic. 361:583-589.

Maynard, D.N., A.V. Barker, P.L. Minotti and N.H. Peck. 1976. Nitrate accumulation in vegetables. Adv. Agron. 28:71-118.

Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering and J.C. Harlan. 1974. Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradiation (Greenwave Effect) of Natural Vegetation. NASA/GSFC Type III Report. Greenbelt, MD, USA. 371pp.

Sui, H.K., K.A. Buckle and M. Wooton. 1983. Determination of nitrate and nitrite in water using high-performance liquid chromatography. J. Chromatogr. 260: 189-194.

Tadeo, K. 1994. Environmental physiology: nitrogen fertilization to maximize resource-efficient productivity in a continuous year-round vegetable cropping sequence. p.283-291. AVRDC 1994 Progress Report. Tainan, Taiwan.

Thenkabail, P. S., R. B. Smith and E. De Pauw. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. Remote Sens. Environ. 71:158-182.

Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sens. Environ. 8:127-150.

Tucker, C.J., J.H. Elgin, Jr., J.E. McMurtrey, III. and C.J. Fan. 1979. Monitoring corn and soybean crop development with hand-held radiometer spectral data. Remote Sens. Environ. 8:237-248.

Wiegand, C.L., A.J. Richardson, D.F. Escobar, and A.H. Gerbermann. 1991. Vegetation indices in crop assessment. Remote Sens. Environ. 35:105-119.

Williams, P.H. and R.J. Haynes. 1995. Nitrogen in the plant environment. p.1-20. In: Nitrogen Nutrition in Higher Plants. Associated Publishing Co., New Delhi, India.

Yang, C. M. and Y. J. Lee. 2001. Seasonal changes of chlorophyll content in field-grown rice crop and their relationships with growth. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC(B). 25(4) :233-238.

Yang, C.-M. 2001. Estimation of leaf nitrogen content from spectral characteristics of rice canopy. Optimizing nitrogen management in food and energy production and environmental protection. Proceedings of the 2nd International Nitrogen Conference on Science and Policy. 14-18 October, 2001. Potomac, Maryland, USA.

Estimating Growth and Nitrogen Status in Plants of *Amaranthus mangostanus* with Canopy Spectral Characteristics[1]

Chwen-Ming Yang[2,8], Jeng-Tzung Wu[3], Bor-Kwei Shen[4], Jih-Zu Yu[5], Chaur-Tsuen Lo[6] and Yuan Shen[7]

Summary

Yang, C. M, J. T. Wu, B. K. Shen, J. Z. Yu, C. T. Lo and Y. Shen. 2003. Estimating growth and nitrogen status in plants of *Amaranthus mangostanus* with canopy spectral characteristics. J. Agric. Res. China 52:268-290.

Field experiments were conducted at the experimental farm of Taiwan Agricultural Research Institute (Wufeng, Taiwan) to measure canopy reflectance spectra and plant characters of *Amaranthus mangostanus* L. (cultivar TNG 1) grown in the growing seasons of 2001-2002. From the simple linear correlation analysis between plant characters and canopy spectral reflectances in the range of 350-2400 nm, it showed that various correlation coefficients existed along the measured spectral wavebands. The narrow wavebands with the maximum absolute value of coefficients were located at 767 nm (r=-0.741**), 574 nm (r=-0.492*), 779 nm (r=-0.645**), 574 nm (r=-0.628**), 1975 nm (r=0.697**) and 577 nm (r=-0.506*) for aboveground fresh yield, leaf total chlorophyll, percent dry matter, leaf area, nitrate content and nitrogen content, respectively. Regression models validation by using data from another experiment showed a significant correlation between the estimated and the measured values in leaf total chlorophyll and aboveground nitrogen. By analyzing of the relationships between plant characters and canopy spectral indices, it indicated that aboveground fresh yield was linearly correlated with GREEN/NIR ratio, RED/NIR ratio and NDVI, aboveground nitrogen was curvilinearly correlated with GREEN, RED/NIR ratio, GREEN/RED ratio and NDVI, and leaf total chlorophyll was also curvilinearly correlated with GREEN and GREEN/RED ratio. These regression models were validated effective with another set of experimental data. By the multiple linear regression analyses, fresh yield and aboveground nitrogen were fitted to 2-variable regression models with the determining factors of 0.852 and 0.761, respectively. Leaf area can be estimated with a best 3-variable regression model (R^2=0.545), while leaf total chlorophyll, percent dry matter and nitrogen content can be assessed with the best 4-variable regression models, with R^2 of 0.697, 0.693 and 0.822, respectively. However, regression model for leaf area was found not feasible to the data from another experiment. Results suggest that plant growth and nitrogen status of vegetable amaranth may be estimated reasonably by the regression models from canopy spectral characteristics.

Key words : Canopy spectral characteristics, *Amaranthus mangostanus*, Plant growth, Nitrogen status, Mutiple linear regression analysis.

1. Contribution No.2169 from Agricultural Research Institute. Accepted : September 1, 2003.
2. Senior Agronomist/Research Fellow, Agronomy Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
3. Lecturer, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
4. Assistant Research Fellow, Horticulture Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
5. Assistant Research Fellow, Applied Zoology Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
6. Research Fellow, Plant Pathology Division, ARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.
7. Professor, Department of Soil and Environmental Sciences, National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan, ROC.
8. Corresponding author, e-mail: cmyang@wufeng.tari.gov.tw ; Fax: (04)23396057.